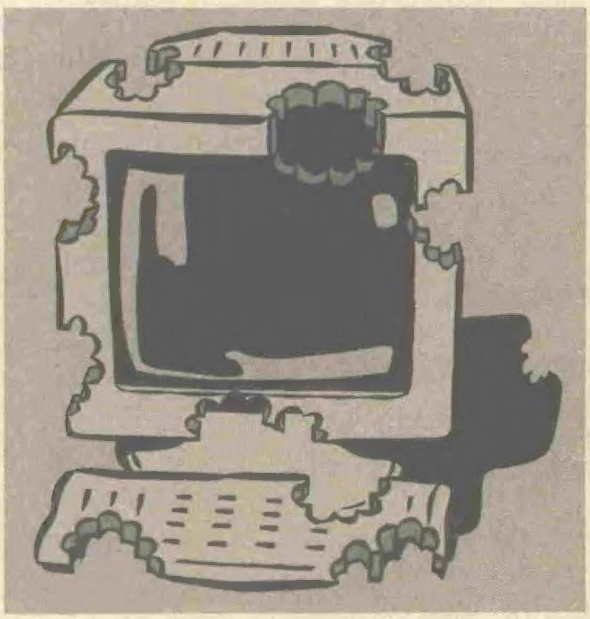
สหัส พรหมสิทธิ์

สิ่งที่คอมพิวเตอร์ยังทำไม่ได้



มีปัญหาใดบ้างในโลกของการคำนวณที่อาศัยคอมพิวเตอร์ และยังคงมีปัญหาอยู่ อันเนื่องจากคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปทำการคำนวณให้ไม่ได้

การปฏิรูปในด้านคอมพิวเตอร์ได้เริ่มขึ้นเมื่อบ่ายวันหนึ่งในฤดูร้อนของประเทศอังกฤษ เมื่อปี 1935 เมื่อ อลัน ทูริ่ง (Alan Turing) ซึ่งในขณะนั้นกำลังศึกษาอยู่ในชั้นปริญญาตรีของ King's College ในมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ได้มีความคิดในอันที่จะสร้างจักรกลการคำนวณอันน่าพิศวงขึ้นมา และได้มีการเรียกจักรกลแบบนี้ในเวลาต่อมาว่า ทูริ่งแมชีน (Turing machine) เนื่องจากอลัน ทูริ่งเป็นหนึ่งในบรรดานักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ที่ผู้เขียนเห็นว่าอยู่ในระดับที่เป็นเอกอัจฉริยะ จึงขอนำเรื่องอันเป็นประวัติชีวิตและผลงานของท่านมาเล่าอย่างละเอียด รวมทั้งผลงานของนักวิทยาศาสตร์และนักประดิษฐ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องพาดพิงกับผลงานของท่านผู้นี้ มาพูดในที่นี้ เพราะเห็นว่าน่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการจะเรียนรู้ให้กระจ่างว่าตราบจนกระทั่งขณะนี้ได้มีปัญหาใดบ้างสำหรับในโลกของการคำนวณที่อาศัยคอมพิวเตอร์และยังคงมีปัญหาอยู่ อันเนื่องจากคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปทำการคำนวณให้ไม่ได้

อลัน ทูริ่ง (1912–1954)

ทูริ่งเป็นบุตรคนที่สองของบิดามารดา ซึ่งเป็นชาวอังกฤษ โดยบิดาได้เคยรับราชการในสำนักงานดูแลอาณานิคมในประเทศอินเดีย แต่สำหรับทูริ่งนั้นท่านได้เกิดและเติบโตตลอดจนได้รับการศึกษาขั้นต้นในประเทศอังกฤษ เมื่อถึงวัยหนุ่มทูริ่งได้รับการศึกษาขั้นปริญญาตรีที่เคมบริดจ์ โดยได้เลือกคณิตศาสตร์เป็นวิชาหลัก และได้รับเกียรตินิยมอันดับสองเมื่อตอนจบปริญญา เท่าที่ทราบบุคคลผู้นี้ได้เคยแสดงความปราดเปรื่องและความหลักแหลมอย่างมาก ๆ นับตั้งแต่วัยเด็ก จึงอาจเป็นไปได้ว่าความคิดความอ่านของทูริ่งได้ล้ำหน้าหลักสูตรของโรงเรียนและมหาวิทยาลัยอยู่ตลอดเวลา จนขาดความกระตือรือร้นในการเรียน เพราะเห็นว่าการเรียนรู้โดยใช้ความคิดของตนนั้นน่าจะสำคัญกว่าสิ่งอื่นใด ดังจะเห็นจากการที่ทูริ่งได้ลงพิมพ์บทความทางวิชาการ (คณิตศาสตร์) ซึ่งเกิดจากความคิดของเขาเป็นครั้งแรกเมื่ออายุเพียง 22 และจากคุณภาพรวมทั้งการริเริ่มใหม่ ๆ ในบทความดังกล่าวก็ได้ทำให้ทูริ่งได้รับการคัดเลือกให้เป็นสมาชิกผู้ทรงเกียรติที่เรียกว่า Fellowship ของ Kins's College ทูริ่งได้ใช้ชีวิตในวัยเรียนในมหาวิทยาลัยเหมือนผู้ที่อยู่ในวัยหนุ่มวัยสาว นั่นก็คือ เรียนเด่น และเล่นกีฬาดี รวมทั้งการใช้ชีวิตทางสังคมที่เป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบสำหรับกุลบุตรที่ดีในครั้งนั้น

ภายหลังที่ทูริ่งได้จบปริญญาไม่นานนักก็ได้ลงพิมพ์บทความทางวิชาการซึ่งมีชื่อว่า "On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungs-problem" โดยลงพิมพ์ใน Proceedings of the London Mathematical Society ในปี 1937 ซึ่งก็ได้มีผู้ให้ความเห็นว่าเฉพาะแค่เพียงบทความเรื่องเดียวนี้สามารถทำให้ทูริ่งยืนหยัดอยู่ในโลกของงานค้นคว้าวิจัยที่ดีเด่นในด้าน Mathematical Logic ได้อย่างสบาย ภายในบทความดังกล่าวทูริ่งได้พิสูจน์ว่าปัญหาทางคณิตศาสตร์สำหรับในบางระดับนั้น ไม่สามารถที่จะแก้ได้โดยอาศัยกระบวนการที่เป็นแบบตายตัว (fixed process) และที่เป็นการ

แน่นอน (definite process) ทูริ่งได้ให้ความหมายของคำว่า definite process ว่าเป็นสิ่งที่สามารถแก้ปัญหาให้ตกไปได้โดยอาศัยจักรกลที่เรียกว่า automatic machine ที่ทูริ่งเป็นผู้เสนอแนะ อันเป็นจักรกลการคำนวณสากลที่เป็นนามธรรม (abstract universal computing machine) ซึ่งมีชื่อเรียกในเวลาต่อมาว่า ทูริ่งแมชีน (Turing machine) เมื่อได้อ่านต่อไปผู้อ่านจะเห็นว่ามีสิ่งที่ทูริ่งแมชีนทำได้นั้น น่าจะเป็นหลักการที่ควรแก่การสนใจ เพราะแม้ในปัจจุบันการทำงานของพีซีไมโครโปรเซสเซอร์และแม้กระทั่งซูเปอร์คอมพิวเตอร์ก็ยังคงอาศัยหลักของทูริ่งแมชีน

จักรกลการคำนวณที่เป็นนามธรรมของทูริ่ง ถ้าหากจะนึกภาพก็จะเป็นเหมือนกล่องใบหนึ่งซึ่งมีเทป (tape) ที่มีความยาวมาก ๆ วิ่งผ่านทะลุกล่องใบนี้ บนแผ่นเทปจะมีการแบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ ไปตามความยาว ส่วนย่อย ๆ ดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส โดยแต่ละสี่เหลี่ยมจตุรัสดังกล่าวจะมีสัญลักษณ์เพียงตัวเดียวปรากฏอยู่ (one of a finite number of symbols) หรืออาจว่างเปล่า (blank) จักรกลของทูริ่งจะอ่านเทปได้ทีละหนึ่งจตุรัส รวมทั้งสามารถทำให้เทปเคลื่อนผ่านไปได้ทีละหนึ่งจตุรัส อันไม่ว่าจะเป็นการเตรียมเทปไปข้างหน้าหรือถอยหลัง รวมทั้งการสามารถที่จะพิมพ์สัญลักษณ์ตัวใดตัวหนึ่งหรือลบสัญลักษณ์ที่ปรากฏอยู่ออกไปจากเทป ทูริ่งได้แสดงว่าการทำงานที่มีความเรียบง่ายที่สุดนี้จักรกลที่เป็นสากล (Universal machine) ของเขาสามารถที่จะคิดเลขที่เป็นของโปรแกรมต่าง ๆ ซึ่งเขียนขึ้นมาโดยอาศัยไบนารีโค้ดที่เป็นเลข 0 และ 1 กล่าวคือ ถ้าผู้เขียนโปรแกรมสามารถกำหนดขั้นตอนต่าง ๆ (ในการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่ง) ให้เป็นไปอย่างแน่นอนได้เมื่อใด ปัญหาดังกล่าวก็จะอยู่ในรูปของโปรแกรมและได้รับการประมวลผล โดยจักรกลการคำนวณในรูปแบบที่เป็นนามธรรมที่จัดว่าน่าสนใจที่สุด กล่าวโดยสรุปก็คือว่า ในทางทฤษฎีนั้นจักรกลการคำนวณที่เป็นสากลของทูริ่งสามารถที่จะทำการคำนวณใด ๆ ก็ตามที่ออโตเมตอน (automaton) ซึ่งทำหน้าที่เฉพาะอย่าง สามารถทำได้ อันเป็นการค้นพบที่มีผลอย่างล้ำลึกในด้านคณิตศาสตร์และคอมพิวติง ซึ่งหมายความว่าสิ่งที่เป็นอัลกอริธึม (algorithm) ซึ่งในอดีตยังไม่มีการนิยามให้เป็นที่แน่นอนว่ามีขั้นตอนอะไรบ้างนั้น ก็สามารถที่จะให้คำนิยามหรือข้อกำหนดให้เป็นที่แน่นอนได้ในรูปของทูริ่งแมชีน ทำให้เราสามารถพิสูจน์ว่าปัญหาบางระดับนั้นไม่สามารถที่จะแก้ได้หากจะมองในแง่ของอัลกอริธึม (unsolvable alogorithmically)

ในปี 1936 ได้เดินทางมาที่มหาวิทยาลัยปรินซ์ตันของสหรัฐฯ เพื่อใช้เวลาสองปีในการทำวิจัยในด้านคณิตศาสตร์ โดยได้เคยทำงานร่วมกับนักตรรกศาสตร์นามกระเดื่อง ผู้มีนามว่า **อลองโซ เชิร์ช** (Alongzo Church) จนกระทั่งได้มีการเสนอให้ทูริ่งเป็นผู้ช่วยของ **จอห์น ฟอน นิวแมน** (John von Neumann) ในฐานะนักวิจัย แต่ทูริ่งได้ปฏิเสธและได้เดินทางกลับ King's College เคมบริดจ์ในปี 1938 พอมาถึงปี 1939 ก็ได้มีลางบอกเหตุว่าอีกไม่ช้าประเทศอังกฤษต้องเข้าสู่สงคราม อันเป็นผลให้ทูริ่งต้องพักการทำงานกับมหาวิทยาลัยชั่วคราว เพื่อไปทำงานให้รัฐบาลอังกฤษอันเป็นโครงการที่ถือได้ว่ามีความสำคัญต่อประเทศชาติอย่างยิ่งยวดและน่าสนใจ โดยเฉพาะสำหรับบรรดาผู้ที่มีความปราดเปรื่องในทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โครงการดังกล่าวมีชื่อว่า "Ultra" ซึ่งภายหลังจากที่สงครามได้เสร็จสิ้นไปแล้วถึง 30 ปี ผลของการค้นคว้าวิจัยของโครงการ Ultra ก็ยังถือเป็นความลับของทางราชการอยู่ อย่างไรก็ตามก็ได้มีเอกสารและตำราในทางประวัติศาสตร์บางชิ้นที่เปิดโอกาสให้ผู้สนใจสามารถล่วงรู้ได้ว่าในภาพรวมนั้นได้มีการค้นคว้าวิจัยอะไรกันบ้าง เพื่อเป็นการเตรียมตัวเข้าสู่สงครามของประเทศอังกฤษ

ผลงานและข้อคิดของทูริ่งในช่วงปี 1939–1954

สถานที่อันเป็นที่ทำงานของบรรดานักวิทยาศาสตร์ในโครงการ Ultra ได้ก่อตั้งขึ้นในเดือนกันยายนของปี 1939 ในสถานที่ซึ่งเรียกว่า Bletchley Park อันเป็นบ้านเก่า ๆ ที่อยู่ในฟาร์ม โดยห่างจากกรุงลอนดอนราว 50 ไมล์ การประเดิมชัยที่น่าจะสำคัญมาก ๆ ก่อนที่นักวิทยาศาสตร์จะเริ่มงานค้นคว้าก็คือ การที่ประเทศอังกฤษสามารถยึดอุปกรณ์เข้ารหัสของประเทศเยอรมันนีที่เรียกว่า Enigma มาไว้ในครอบครองได้สำเร็จ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีหน้าที่ในการกวนตัวอักษรต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในคำพูดของข้อความเพื่อให้เป็นรหัส ซึ่งจะสามารถถอดรหัสดังกล่าวได้ก็ต่อเมื่อได้อาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า รีซิฟเวอร์ (receiver) ที่ทำงานด้วยคีย์ (key) อันหนึ่ง ซึ่งถ้าอังกฤษสามารถค้นหาคีย์ดังกล่าวได้ก็จะสามารถดักฟังหรือลอบรับสัญญาณที่เป็นข้อความบางอันหรือทั้งหมดได้

เมื่อกองบัญชาการสูงสุดของเยอรมันนีส่งไปถึงกองทัพโดยผ่าน Enigma ตรงจุดนี้ที่ทูริ่งได้รับเชิญให้เป็นหนึ่งในบรรดานักคณิตศาสตร์กลุ่มเล็ก ๆ ที่ทำงานอยู่ที่ Bletchley เพื่อทำการแกะรอยในการหาคีย์ (key) ดังกล่าว ซึ่งปรากฏว่านักคณิตศาสตร์ที่ Bletchley สามารถถอดรหัสใน Enigma ได้หมดโดยอาศัยคอมพิวเตอร์ที่ทูริ่งเป็นผู้ออกแบบเป็นเครื่องมือในการถอดรหัสดังกล่าว ซึ่งในระหว่างสงครามนั้นทูริ่งก็ยังคงติดต่อกับ จอห์น ฟอน นิวแมน แห่งมหาวิทยาลัยปรินซ์ตันในสหรัฐฯ เพื่อแลกเปลี่ยนข้อคิดในเรื่องของแนวความคิดใหม่ ๆ ในการออกแบบคอมพิวเตอร์อยู่อย่างสม่ำเสมอ ดังจะเห็นได้จากการที่ทูริ่งต้องเสี่ยงเดินทางข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในช่วงสงครามกับเยอรมัน ในเดือนพฤศจิกายน ปี 1942 เพื่อไปพบจอห์น ฟอน นิวแมน และนักปราชญ์อื่น ๆ ในสหรัฐฯ และได้อยู่ในสหรัฐฯ จนถึงเดือนมีนาคมปี 1943 จึงเดินทางกลับประเทศอังกฤษ

การฝักใฝ่สนใจในเรื่องของคอมพิวเตอร์ของทูริ่งนั้นได้มีมาตั้งแต่ยังเยาว์วัยในขณะที่เรียนอยู่ในชั้นปริญญาตรีที่ King's College ผู้ที่มีอิทธิพลต่อความนึกคิดในด้านคอมพิวเตอร์ของทูริ่งที่ถือว่ามากที่สุดก็คือ ชาร์ลส์ แบบเบจ (Charles Babbage) ซึ่งเกิดเมื่อปี 1792 และได้สร้างต้นแบบของเครื่องคิดเลขแบบอัตโนมัติขนาดเล็กที่เรียกว่า Difference Engine โดยมีจุดมุ่งหมายให้สามารถทำการคำนวณได้ในรูปแบบที่เป็นอเนกประสงค์ รวมทั้งการมีองค์ประกอบหลาย ๆ อย่างที่เหมือนกับคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน โดยมีชื่อว่า "**Analytical Engine**" จนสามารถส่งผลให้เกิดมีอิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า EDSAC ของอังกฤษในเวลาต่อมา

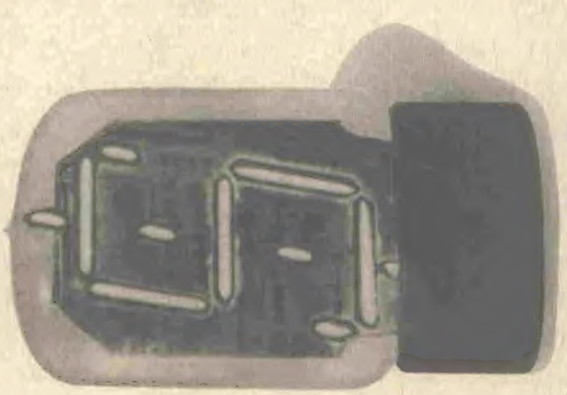
ช่วงระยะเวลาของการก่อให้เกิดมีคอมพิวเตอร์เช่น EDSAC (ซึ่งมีซีพียู ฯลฯ) นับจากจุดที่แบบเบจพยายามจะหาทุนเพื่อสร้าง Analytical Engine นั้นได้นานถึงร้อยกว่าปี อนึ่ง ชาร์ลส์ แบบเบจ ได้ใช้ความพยายามจนสิ้นอายุขัยของท่านเพื่อแสวงหาเงินลงทุนในการสร้าง Analytical Engine แต่ก็ไม่ประสบผลสำเร็จ เพราะหาผู้สนับสนุนการเงินที่เป็น**รายใหญ่**ไม่ได้

ภายหลังสงครามทูริ่งได้เข้าทำงานที่ The National Physical Laboratory ใน Teddington เพื่อออกแบบคอมพิวเตอร์รุ่นแรก ๆ ที่เรียกว่า Automatic Computing Engine (ACE) แต่เมื่อทำงานที่นี่ไปได้สักพัก ทูริ่งก็เห็นว่าน่าจะเสียเวลาเปล่า ๆ เพราะเป็นการทำงานแบบราชการ รวมทั้งการไม่เปิดโอกาสให้ตนไปทำงานในด้านวิศวกรรม จึงได้ขอลาพักเป็นเวลาหนึ่งปีเพื่อไปทำวิจัยที่ King's College จนในเดือนกันยายนปี 1947 ทูริ่งก็ได้เรียบเรียงบทความที่มีความสำคัญมาก ๆ เรื่องหนึ่งโดยใช้ชื่อว่า "**Intelligent Machinery**" การพบปะระหว่างทูริ่งกับนักคณิตศาสตร์คนสำคัญของสหรัฐฯ ยังคงดำเนินต่อไป ดังจะเห็นจากการมาเยี่ยมเยียนของนอร์เบิร์ต วีนเนอร์ (Norbert Wiener) ที่ Teddington ในฤดูใบไม้ผลิของปี 1947 ซึ่งได้มีการแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นในเรื่องต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับ**ปรีชาญาณ** (Intelligence) และการออกแบบคอมพิวเตอร์อย่างกว้างขวาง การก้าวล้ำนำหน้าในเชิงความคิดในด้านการสร้างจักรกลการคำนวณที่มีปรีชาญาณ (Intelligent Machinery) นั้นได้เป็นที่ประจักษ์แก่ศาสตราจารย์วีนเนอร์ก่อนที่จะมาพบทูริ่งเป็นครั้งแรก จนกระทั่งเมื่อ ศ.วีนเนอร์ได้มาพบทูริ่งอีกครั้งในเวลาสองปีต่อมา (1949) และได้ประกาศชมผลงานเขียนในเรื่อง Intelligent Machinery ของทูริ่งในเวลาต่อมาว่า *"เป็นต้นฉบับในแง่ของการผสมผสานระหว่าง mathematical logic กับความรู้ในด้านทฤษฎีและปฏิบัติที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในด้านการควบคุมและการสื่อสาร"* (Wiener, 1961)

บทคัดย่อในบทความเรื่อง "Intelligent Machinery" ของทูริ่ง ได้แสดงออกถึงความแกล้วกล้าในทางความคิด ไว้ว่า

"ภายในบทความนี้จะกล่าวถึงความเป็นไปได้ในการสร้างจักรกลการคำนวณที่สามารถแสดงออกในเรื่องของปรีชาญาณความฉลาด (Intelligent Behavior) โดยอาศัยการทำงานของสมองของมนุษย์เป็นหลัก ซึ่งการที่จักรกลการคำนวณจะมีความฉลาดเหมือนมนุษย์นั้น สามารถกระทำได้หากมีการให้การศึกษาที่เหมาะสม งานวิจัยชิ้นนี้จะหนักไปในเรื่องของกระบวนการในการฝึกสอนที่ใช้สำหรับจักรกลการคำนวณ รวมทั้งการให้ข้อกำหนดที่เป็นแนวความคิดในเรื่องของ unorganized machine กับข้อเสนอที่ว่า ส่วนของสมองของทารกที่เรียกว่า infant human cortex นั้นจะมีสภาพที่กล่าวในวรรคแรก"

ภายหลังจากที่บทความทางวิชาการของทูริ่งได้ปรากฏออกมาไม่นาน ก็ได้มีเสียงคัดค้านความเป็นไปได้ของ Intelligent Machine ว่ามนุษย์จะไม่ยอมรับในความเป็นไปได้ที่จะมาแข่งกับพละกำลังทางสมองของตน และแม้ว่าการสร้างจักรกลแบบนี้ (Intelligent Machine) จะมีความเป็นไปได้ก็จะไม่ชอบด้วยเหตุผล เพราะจักรกลการคำนวณและความเป็นมนุษย์จะมีความแตกต่างกันอย่างมาก จนได้เกิดมีทฤษฎีของนักปราชญ์ใหญ่ในทางคณิตศาสตร์ท่านหนึ่งที่เรียกว่า Godel's Theorem ซึ่งได้



แสดงว่าลึกลงไปในภายในนั้นจักรกล (machines) ไม่สามารถที่จะแก้ปัญหาต่าง ๆ อีกหลายด้านที่มนุษย์แก้ได้ รวมทั้งการมีปรีชาญาณของจักรกล (Machine Intelligence) ที่จะต้องจำลองแบบมาจากผู้สร้างจักรกลดังกล่าว ซึ่งทฤษฎีของ Godel ได้พิสูจน์ว่าปรีชาญาณในจักรกลเป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้

จากข้อโต้เถียงในข้างต้นนี้ ผู้อ่านจะสามารถเห็นความเป็นอัจฉริยะและการมองการณ์ไกลของปราชญ์เอกเช่นทูริ่งในเรื่องของมนุษย์ในคราบของจักรกล (man as machine) ว่า หากจะมองดูเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันก็จะเห็นว่าได้มีอุปกรณ์หรือจักรกลอยู่หลายชนิดที่เลียนแบบร่างกายของมนุษย์ เช่น กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ที่ทำหน้าที่เหมือนนัยน์ตา ไมโครโฟนที่เข้ามาช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการรับฟังของหู และ servomachanistic robots ที่ลอกเลียนการเคลื่อนไหวของแขน ขา และร่างกายของมนุษย์ ฯลฯ ดังประจักษ์พยานจากข้อเขียนของทูริ่ง ดังนี้

"นักคณิตศาสตร์เช่นข้าพเจ้าได้ให้ความสนใจเป็นพิเศษในเรื่องของระบบประสาท (nervous system) และน่าจะเป็นไปได้ที่จะสร้างแบบจำลองทางไฟฟ้าให้ทำงานเหมือนประสาท (nerves) อย่างไรก็ตาม การกระทำดังกล่าวจะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์แต่อย่างใด อันจะเหมือนกับการลงทุนลงแรงไปอย่างมากในการสร้างรถยนต์ขึ้นมาสักคันที่เดินด้วยเท้าแทนที่จะใช้ล้อ วงจรไฟฟ้าที่ใช้ในจักรกลที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์คอมพิวติงนั้นได้มีคุณสมบัติในการทำงานที่คล้ายกับประสาทอยู่แล้ว ในแง่ของการสามารถส่งข้อมูลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง รวมทั้งการสามารถที่จะเก็บข้อมูลเอาไว้"

ข้อแนะนำที่เต็มไปด้วยจินตนาการของทูริ่งได้เป็นว่า หนทางหนึ่งในการสร้างจักรกลที่คิดได้เอง (thinking machine) นี้จะเหมือนกับการสร้างมนุษย์กล (analog man) ซึ่งประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพ ไมโครโฟน ลำโพงขยายเสียง ฯลฯ อย่างไรก็ตาม ทูริ่งได้เห็นว่ายังมีวิธีอื่นที่ดีกว่านี้ นั่นก็คือ การสร้างสมองในรูปของจักรกลการคำนวณที่สามารถเล่นเกมต่าง ๆ เช่นหมากรุก จนถึง poker รวมทั้งการมีความสามารถในด้าน

- การเรียนรู้ภาษาง่าย ๆ
- การแปลภาษา
- การมีความรู้ในด้านรหัสวิทยา (cryptography) และ
- คณิตศาสตร์

ที่น่าแปลกอย่างมากก็คือว่า การคิดคำนึงของทูริ่งที่กล่าวในข้างต้นได้กลายเป็นหัวข้อใหญ่ ๆ ในการทำวิจัยในด้าน AI (Artificial Intelligence) ในอีก 20 ปีต่อมา

ในเดือนตุลาคมของปี 1950 ทูริ่งได้พิมพ์บทความเรื่อง "Computing Machinery and Intelligence" โดยได้พูดถึงปัญหาที่ว่า จักรกลต่าง ๆ นั้นคิดได้หรือไม่ โดยได้เสนอวิธีสอบที่เรียกว่า Turing's Test ซึ่งผู้ที่ทำการทดสอบ (Interrogator) จะอยู่แยกจากผู้ที่ถูกทดสอบหรือจักรกลที่ถูกทดสอบ และการติดต่อซึ่งกันและกันนี้จะต้องอาศัยโทรพิมพ์ (teletype) เท่านั้น ทูริ่งได้เสนอว่า ถ้าผู้ที่ทำการทดสอบไม่สามารถบอกได้ว่า ตนได้ทำการสื่อสารกับบุคคลหรือจักรกล ก็แสดงว่า จักรกลนั้นสามารถคิดได้เหมือนมนุษย์ ชีวิตของทูริ่งได้ผูกพันกับงานวิจัยในเรื่องของการคิดของมนุษย์และคอมพิวเตอร์จวบจนสิ้นอายุของท่านผู้นี้ในปี ค.ศ. 1954 ซึ่งในปั้นปลายก่อนสิ้นชีวิตนั้น ทูริ่งได้เข้าไปผูกพันกับ AI อย่างมาก โดยอาศัยการทำงานของมนุษย์ (เช่นสมอง) เป็นครู

จากนี้ก็จะขอเข้าสู่เรื่องของ **สิ่งที่คอมพิวเตอร์ยังทำไม่ได้** ต่อไป

ปัญหาที่คอมพิวเตอร์คำนวณให้ต่อไปไม่ได้

เมื่อไม่กี่ปีมานี้ นักวิทยาศาสตร์ได้เริ่มหันมาให้ความสนใจในเรื่องของความหมายของคำว่า การคำนวณ (computation) และได้ตั้งข้อสงสัยว่า แนวความคิดของทูริ่งว่าสิ่งที่เป็น Turing's model นั้นได้หาความเป็นไปได้ต่าง ๆ โดยไม่มีการมองข้ามว่า อุปกรณ์ที่เป็นคอมพิวเตอร์ควรทำหน้าที่อะไรได้บ้างจนครบทุกแง่ทุกมุมหรือไม่ และได้พบว่าคำว่า **คอมพิวติง** (computing) นั้นอาจมีความหมายที่ลึกซึ้งกว่าที่ทูริ่งจะสามารถนึกภาพออกได้ในขณะนั้น อันเป็นการค้นคิดที่จะนำไปสู่การสร้างคอมพิวเตอร์ ซึ่งทูริ่งไม่ได้คาดคิดไว้ โดยคอมพิวเตอร์ในยุคใหม่จะสามารถทำในสิ่งที่**คอมพิวเตอร์ในขณะนี้ทำไม่ได้**

รูปที่ 1 งานบางชนิดอาจไม่สามารถทำการคำนวณ (uncomputable) โดยอาศัยทูริ่งแมชีน เช่น การหาทางใช้กระเบื้องปูพื้นที่มีรูปร่างแปลก ๆ มาปูให้เต็มพื้นห้องโดยไม่ให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นกระเบื้อง อันเนื่องจากเส้นรอบรูปของแผ่นกระเบื้องมีความซับซ้อนดังในภาพ ในปี 1996 โรเบิร์ต เบอร์เยอร์ (Robert Berger) ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์ชาวอเมริกันได้พิสูจน์ว่า มนุษย์ไม่สามารถที่จะเขียนโปรแกรมสำหรับคอมพิวเตอร์หรือทูริ่งแมชีนใด ๆ เพื่อให้ทำการคำนวณการปูพื้นด้วยกระเบื้องที่มีความซับซ้อนดังในภาพ (ยกเว้นกระเบื้องที่มีเส้นรอบรูปไม่ซับซ้อน เช่นสี่เหลี่ยม) และแม้ว่าจะสามารถเขียนโปรแกรมจนให้คำตอบออกมาได้ ก็จะต้องใช้เวลาในการคำนวณนาน จนเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ

ในโลกของการประมวลผลข้อมูลในปัจจุบันนั้นจะอาศัยกรรมวิธีทางคำนวณที่เรียกว่าอัลกอริธึมเป็นเครื่องกำหนดขั้นตอนในการประมวลผล ดังทราบกันอยู่ ซึ่งสำหรับในแง่ของนักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์หรือนักทฤษฎีนั้นก็มีหน้าที่ในการขบคิดต่อไปอีกว่าจะแปลงขั้นตอนต่าง ๆ สำหรับการประมวลผลข้อมูลให้ไปอยู่ในรูปที่มีความแม่นยำมาก ๆ (mathematical structure หรือโมเดล) ได้อย่างไร รวมทั้งการใช้ความแม่นยำดังกล่าวในการพิสูจน์สิ่งที่เป็นคุณสมบัติของอัลกอริธึม

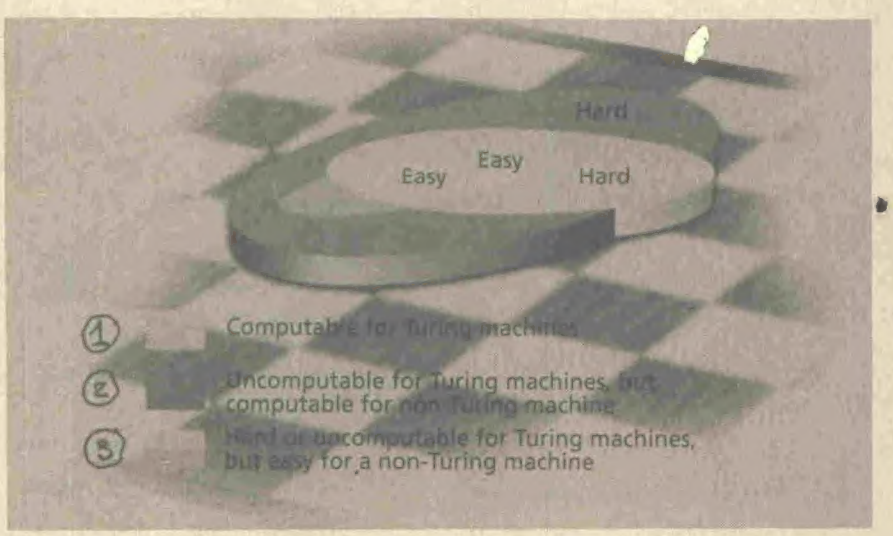
จากนี้ก็จะมาถึงเรื่องของทูริ่งแมชีนที่ว่าแมชีนอันเป็นแนวความคิดของทูริ่งนี้ได้ทำให้คำว่า computation สามารถยืนอยู่บนรากฐานอันแข็งแกร่งทางคณิตศาสตร์ได้ โดยเป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็ยังมีสมมติฐานอันเกิดจากการร่วมกันทำวิจัยในทางคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ระหว่างทูริ่งกับอลองโซ เชิร์ช (Alongzo Church) ที่มหาวิทยาลัยปรินซ์ตันในช่วงปี ค.ศ. 1936-38 ที่เรียกว่า **Turing-Church Thesis** โดยมีใจความว่า "*ทูริ่งแมชีน ซึ่งทำงานโดยอาศัยโปรแกรมที่เหมาะสมจะสามารถประมวลผลข้อมูลสำหรับกระบวนการอะไรก็ได้ที่พอจะเรียกได้ว่าเป็น computation*"

Turing-Church Thesis ไม่ใช่ทฤษฎี แต่เป็นเพียงสมมติฐาน เพราะยังพิสูจน์ให้แน่ชัดลงไปไม่ได้ กล่าวคือ เป็นข้อเสนอในเรื่องของการตกลงกันในระหว่างแนวความคิดแบบไม่เป็นทางการในด้าน computation กับความคิดแบบเป็นทางการที่อยู่ในรูปของคณิตศาสตร์ของทูริ่ง โดยในตลอดเวลา 40 ปีที่ผ่านมานี้ นักวิทยาศาสตร์ได้ยึดเอาสมมติฐานดังกล่าวเป็นหลักปัญหาที่ถกเถียงกันในด้านนี้ในแผนกวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ จึงเป็นไปในแง่ที่ว่า มีปัญหาอะไรที่แก้ได้หรือแก้ไม่ได้ในรูปของ computation รวมทั้งการจัดอันดับความยากของปัญหา วิธีหนึ่งในการจัดอันดับก็คือ การแบ่งปัญหาต่าง ๆ ออกเป็นสามระดับคือ ง่าย ยาก และคำนวณหรือประมวลผลไม่ได้ (uncomputable) อันเป็นการแบ่งตามความพยายามของทูริ่งแมชีน ตัวอย่างเช่น กรณีของปัญหาที่เรียกว่า ยาก (hard) ในทัศนะของนักวิทยาศาสตร์บางท่าน จะเป็นว่าสมมติซูเปอร์มาร์เก็ตต่าง ๆ ที่อยู่ในกรุงเทพฯ ได้เชื่อมโยงกันด้วยเครือข่ายของถนนต่าง ๆ ที่เป็นแบบวันเวย์ และสิ่งที่ต้องการจะหาก็คือว่าจะขับรถผ่านซูเปอร์มาร์เก็ตให้ครบทุกแห่งโดยผ่านไปแห่งละหนึ่งครั้งได้อย่างไร ปัญหาที่จัดว่า ง่าย (easy) ก็มีอาทิเช่น การ sort รายชื่อให้เรียงตามลำดับอักษร (alphabetical order) ส่วนปัญหาประเภทที่สามซึ่งทูริ่งแมชีนแก้ไม่ได้ หรือถ้าหากจะแก้ได้สำเร็จก็อาจใช้เวลานานมากแม้จะใช้ซูเปอร์คอมพิวเตอร์ก็ตาม ปัญหาชนิดนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์ก็ได้แบ่งอาณาเขตอันเป็นความยากง่ายของปัญหาให้กว้างขวางมากขึ้นในแง่ที่ว่า ปัญหาใดที่ทูริ่งแมชีนแก้ได้ จนถึงปัญหาที่ทูริ่งแมชีนทำการคำนวณให้ไม่ได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2

คอมพิวเตอร์ที่เป็นแบบนอน ทูริ่งแมชีน (Non Turing Machine)

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้มีความแน่ใจว่าสิ่งที่เป็นทูริ่งแมชีนนั้นได้มีข้อจำกัดอยู่อีกมากในการแก้ปัญหาอีกหลาย ๆ ด้านที่ไม่ใช่แบบตรงไปตรงมา อันเป็นเหตุให้นักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ต้องค้นหาคอนเซ็ปต์ใหม่ ๆ ในการแก้ปัญหาที่มีความยากมาก ๆ จนทูริ่งแมชีนแก้ไม่ได้ คอนเซ็ปต์หรือโมเดลต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณในสิ่งที่คำนวณไม่ได้ (compute the uncomputable) มีอาทิเช่น

- โมเดลที่เรียกว่า เซลลูล่าร์ออโตเมตอน (cellular automaton)



รูปที่ 2 แสดงอาณาเขตของปัญหาต่าง ๆ ที่สามารถคำนวณได้โดยอาศัยทูริ่งแมชีน 1) ไม่สามารถคำนวณได้ด้วยทูริ่งแมชีน แต่ทำการคำนวณได้โดยอาศัยนอนทูริ่งแมชีน (non Turing machine) ที่แสดงไว้ใน 2) และปัญหาที่มีความยากหรือคำนวณไม่ได้ด้วยทูริ่งแมชีน แต่ง่ายสำหรับนอนทูริ่งแมชีน 3)

- การสร้างคอมพิวเตอร์จาก DNA อันเป็นแนวความคิดที่ปรากฏออกมาในปี 1994 และเป็นของ ศ.เลียวนาร์ด อะเดลแมน (Leonard Adelman) แห่งมหาวิทยาลัยเซาท์เธิร์นแคลิฟอร์เนีย

- ในปี 1982 ริชาร์ด เฟนแมน (Richard Feynman) ได้ลงพิมพ์บทความทางวิชาการที่เรียกว่า "Simulating Physics with Computers" เพื่อเสนอแนะการอาศัยคุณสมบัติอันประหลาดของอนุภาคควอนตัมมาใช้ในการคำนวณ โดยได้ให้ข้อคิดเห็นว่า คุณสมบัติของควอนตัมจะให้การประมวลข้อมูลที่เร็วกว่าคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันหลาย ๆ เท่า โดยอาศัยหลักของ superpositions

- ในปี 1992 ปีเตอร์ ชอร์ (Peter Shor) แห่ง AT&T Bell Labs ได้พบว่าอัลกอริธึมที่ใช้ในควอนตัมแมชีนที่ใช้ในการหา prime factors ของจำนวนเลขที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ได้

จึงได้มีหลักฐานที่ค่อนข้างแน่ชัดว่าโมเดลของทูริ่งไม่มีความสมบูรณ์เพราะไม่ได้พูดถึงทางเป็นไปได้ของการคำนวณแบบต่าง ๆ จนครบทุกรูปแบบ อันทำให้มีผู้ค้นคิดแมชีนแบบใหม่ ๆ ในรูปแบบที่ทูริ่งแมชีนครอบคลุมไม่ถึง (beyond turing) ดังจะเห็นได้จากข้อคิดของนักวิทยาศาสตร์นามกระเดื่องในปัจจุบันท่านหนึ่งซึ่งมีนามว่า เดวิด ดอยช์ (David Deutsch) แห่งมหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ด ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในด้านฟิสิกส์ภาคทฤษฎีที่เกี่ยวกับควอนตัมคอมพิวติง โดยท่านผู้นี้ได้ให้ทัศนะว่านักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์นับตั้งแต่สมัยของทูริ่ง จนกระทั่งในปัจจุบันยังคงเข้าใจว่าเฉพาะแค่คณิตศาสตร์เท่านั้นก็พอเพียงสำหรับการเข้าใจในด้าน computation โดยมองข้ามความสำคัญของวิชาฟิสิกส์ อย่างไรก็ตาม การค้นพบทางวิทยาศาสตร์เมื่อเร็ว ๆ ได้เป็นไปในทำนองที่ว่าการสามารถปรับเปลี่ยนสิ่งที่เป็นรากฐานทางฟิสิกส์ของอุปกรณ์คำนวณต่าง ๆ จะก่อให้เกิดแมชีนที่มีความแปลกใหม่ชนิดไม่มีใครคาดคิดมาก่อนได้ อันหมายความว่าสิ่งที่คอมพิวเตอร์ทำได้หรือทำไม่ได้จะขึ้นกับกฎต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ โดยไม่ได้เกิดจากการกำหนดของคณิตศาสตร์แต่เพียงอย่างเดียว ดังเช่นกรณีของ DNA คอมพิวเตอร์ที่มีอานุภาพในการคำนวณสูงก็เพราะอาศัยขนาดทางกายภาพ (physical size) เป็นเครื่องช่วย อันจะเหมือนกับควอนตัมคอมพิวเตอร์ที่ทำการประมวลผลข้อมูลโดยอาศัยคุณสมบัติอันแปลกประหลาดของสิ่งที่เป็นควอนตัม และอาจเป็นไปได้อีกเช่นกันว่า การปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์ อาจก่อให้เกิดอุปกรณ์คำนวณแบบใหม่ที่สามารถคำนวณในสิ่งที่ทูริ่งแมชีนคำนวณไม่ได้ ซึ่งในขณะนี้ก็ยังไม่มีใครทราบเรื่องนี้อย่างแท้จริง สำหรับโมเดลในทางทฤษฎีนั้นก็ได้มีผู้สร้างขึ้นมาอยู่บ้างเหมือนกัน ปัญหาจึงมีว่า สิ่งที่เป็นโมเดลของแมชีนแบบต่าง ๆ (models of machines) ที่เป็นคอมพิวเตอร์ซึ่งมีความรอบรู้ในการคำนวณนั้นได้มีอยู่หรือไม่

การพยายามคำนวณสิ่งที่คำนวณไม่ได้

ข้อคิดในเรื่องของนอนทูริ่งแมชีนในข้างต้นได้เป็นที่มาของโมเดลแบบ BSS ที่เกิดจากงานวิจัยของนักคณิตศาสตร์ของมหาวิทยาลัยแห่งแคลิฟอร์เนียที่เบิร์กเลย์คือ สตีเว่น สเมล (Steven Smale) กับนักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ในมหาวิทยาลัยเดียวกันคือ ลีนอร์ บลัม (Lenore Blum) พร้อมด้วยนักคณิตศาสตร์ที่ IBM Research Division ผู้มีนามว่า ไมเคิล ชับ (Michael Shub) ซึ่งได้ร่วมกันตามการวิจัยเพื่อหาทางออกแบบคอมพิวเตอร์ให้ทำการคำนวณได้อย่างแม่นยำ ทั้งในรูปของ real numbers รวมทั้งสิ่งที่เป็น whole number เช่น 0, 1, 2, 3... ด้วยการผนึก processing elements แบบใหม่เข้าไปในแมชีน อันจะทำให้สามารถทำการคำนวณเลขที่เป็นเศษส่วน (real numbers) และที่เป็นจำนวนเต็ม (whole numbers) ได้อย่างแม่นยำที่สุด ซึ่งทูริ่งแมชีนทำไม่ได้ อย่างไรก็ตามก็ยังมีปัญหาต่อไปอีกว่าถ้าความเป็นไปได้ในทางคำนวณนั้นขึ้นกับความเป็นไปได้ในทางฟิสิกส์ ตามที่มีผู้เสนอไว้ ก็จะมีคำถามว่ายังมีกระบวนการทางฟิสิกส์อะไรอีกบ้างที่ดำเนินไปตามกฎต่าง ๆ ของฟิสิกส์ ซึ่งในตัวของมันเองนั้น (physical process) ยังอยู่ในรูปที่เรียก uncomputable คำถามต่อไปก็จะเป็นว่า ยังมีสิ่งใดอีกบ้างที่อยู่ในจักรวาล (Universe) ซึ่งมีพฤติภาพที่ไม่สามารถจะทำการซิมูเลต โดยอาศัยทูริ่งแมชีน แม้ว่าจะเป็นการซิมูเลตในขั้นหลักการ ถ้าหากนักวิทยาศาสตร์สามารถพบกระบวนการเช่นนี้เมื่อใด ก็จะสามารถสร้างอุปกรณ์คำนวณโดยอาศัยความรู้ดังกล่าวเพื่อคำนวณในสิ่งที่คำนวณไม่ได้ (compute the uncomputable)

หนึ่งในบรรดานักวิทยาศาสตร์ที่พยายามในการค้นหาคำตอบสำหรับปัญหาในข้างต้นคือโรเยอร์ เพ็นโรส (Royer Penrose) แห่งมหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ด ซึ่งได้ใช้เวลาในการตรวจสอบกฎต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ โดยไล่ไปทีละข้อเพื่อหาช่องโหว่ในแง่ของ uncomputable และได้พบว่ากฎส่วนใหญ่ในฟิสิกส์จะเป็นไปตามแนวความคิดของทูริ่ง อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีอาณาจักรอื่น ๆ ที่อาจไม่เป็นไปตามโมเดลของทูริ่ง เช่น ในโลกของควอนตัมที่ประกอบด้วยสิ่งที่เล็กมาก ๆ รวมทั้งสิ่งต่าง ๆ ที่เป็นวัตถุในในโลกของมนุษย์ จึงน่าสรุปได้ว่าคอนเซปต์ในเรื่องของ computation ของทูริ่งนั้นค่อนข้างจำกัด รวมทั้งการต้องทำใจให้กว้างในแง่ที่ว่าวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ไม่ได้เป็นแขนงหนึ่งของคณิตศาสตร์เหมือนอย่างที่เคยมีการยอมรับกัน เมื่อเป็นเช่นนี้เกมของการแสวงหาแมชีนที่สามารถทำในสิ่งที่เป็นไปไม่ได้จึงได้ตกไปอยู่ในกำมือของนักฟิสิกส์ในยุคปัจจุบัน